# UNTERSUCHUNGEN ZUR FRAGE ER BIOLOGISCH WIRKSAMEN GRENZKONZENTRATIONEN N KOHLENSÄUREGASBÄDERN UND IN KOHLENSÄURE-WASSERBÄDERN ALS VORAUSSETZUNG FÜR DIE EINRICHTUNG EINES KOHLENSÄURESPRÜHBADES.

UTE TOLLE

MÜNCHEN 1967

AUS DEM BALNEOLOGISCHEN INSTITUT DER UNIVERSITÄT MÜNCHEN
UND DEM RIEDERINSTITUT
POLIKLINIK FÜR PHYSIKALISCHE THERAPIE UND RÖNTGENOLOGIE
Direktor: Professor Dr.med.H.v.Braunbehrens

# Untersuchungen zur Frage der biologisch wirksamen Grenzkonzentrationen in Kohlensäuregasbädern und in Kohlensäurewasserbädern als Voraussetzung für die Einrichtung eines Kohlensäuresprühbades.

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung der Doktorwürde
in der gesamten Medizin
verfasst und einer Hohen Medizinischen Fakultät
der Ludwig - Maximilians - Universität zu München

vorgelegt von
Ute Tolle
aus Nordhausen

München 1967

UNIV.
LEIDEN
BIBL.

Mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät der
Universität München

Berichterstatter: Priv.Doz.Dr.H.Drexel

Mitberichterstatter: Prof.Dr.H.v.Braunbehrens

Dekan: Prof.Dr.M. Kiese

Tag der mündlichen Prüfung: 21.2.1967

Fotodruck: Mikrokopie GmbH, München 22, Bruderstraße 9

Inhaltsübersicht


| | Seite |
|---|---|
| 1. Einleitung | 2 |
| 2. Literaturübersicht | 3 |
| 3. Aufgabenstellung | 7 |
| 4. Methode und Untersuchungsergebnisse | 8 |
| A.) I. Fragenkomplex | 8 |
| a. Methoden zur Bestimmung von Kohlensäurekonzentrationen in Wasserbädern und Auswahl der für unsere Versuchsbedingungen günstigsten Bestimmungsmethode. | |
| b. Methoden zur Bestimmung von Kohlensäurekonzentrationen in Gasgemischen. | 15 |
| B.) II.Fragenkomplex | 16 |
| a. Durchführung von Armbädern zur Feststellung der für eine Hautrötung benötigten Mindestkonzentration an $CO_2$ in Kohlensäurelösungen. | |
| b. Durchführung von Gas-Armbädern zur Feststellung der für eine Hautrötung benötigten Mindestkonzentration an Kohlendioxyd in $CO_2$- Gasgemischen. | 17 |
| c. Untersuchungsergebnisse der Wasser-und Gasarmbäder. | 18 |
| C.)III.Fragenkomplex | 22 |
| a. Versuchsaufbau der Sprühbadversuche | 22 |
| b. $CO_2$-Zugabe in der Sprühkammer | 25 |
| c. Durchführung der $CO_2$-Sprühbäder an Versuchspersonen und Messung der $CO_2$- Konzentration im Sprühbad. | 26 |
| d. Ergebnisse der Sprühbadversuche. | 27 |
| $\alpha$ $CO_2$-Wasser-und Gaskonzentration im Sprühbad | |
| $\beta$ Hautrötung im Sprühbad | |
| 5. Diskussion | 33 |
| 6. Zusammenfassung | 42 |
| 7. Literaturverzeichnis | 44 |
| 8. Lebenslauf | 50 |

## 1. Einleitung

Kohlensäure gilt seit Jahrhunderten als Heilmittel. Kreislaufeffekte und Kohlensäurewirkungen in der Haut sind ebenfalls seit langem bekannt. Die Kohlensäure wird als Gas und in gelöster Form zur Therapie von Herz- und Kreislaufkrankheiten, insbesondere der Hochdruckkrankheiten, zur Therapie peripherer Durchblutungsstörungen und als mildes Reizmittel bei vegetativen Dysregulationen benutzt.

Eine neue Badeform ist das von Dirnagel, Fick und Schneider für die Bad Wiesseer Jod- und Schwefelquellen entwickelte " Sprühbad ". Es hat sich durch verbesserte Hautresorption und verminderte Kreislaufbelastung bewährt. So lag es nahe, diese Vorzüge besonders für den Kreislaufkranken in einem "Kohlensäuresprühbad" nutzbar zu machen. Bei Kreislaufuntersuchungen im $CO_2$-Sprühbad konnte man bisher aber keine der bekannten Kohlensäurewirkungen feststellen.

Beim Literaturstudium über Kohlensäuregasbäder stieß ich ebenfalls auf sehr widersprüchliche Untersuchungsergebnisse bei den verschiedenen Autoren. Ausgehend von der Überlegung, daß die Diffusion der Kohlensäure vom Bademilieu durch die Haut in den Organismus im Wasser-, Gas- und Sprühbad den gleichen physikalischen Gesetzen unterliegt, stellte sich die Frage, ob möglicherweise Konzentrationsunterschiede in den verschiedenen Bäderarten die Ursache für die widersprüchlichen Ergebnisse sind.

## 2. Literaturübersicht

Von Kohlensäurebädern, die zu Heilzwecken benutzt werden, wird in den Begriffsbestimmungen für Kurorte, Erholungsorte und Heilbrunnen (1) eine Mindestkonzentration von 1g gelöste, freie Kohlensäure pro kg Wasser verlangt. Das entspricht etwa der physikalischen Löslichkeit der Kohlensäure bei einer Wassertemperatur von 35°C und bei einer Spannung von 760 mm Hg $CO_2$ im umgebenden Gas. Die zu Heilzwecken benutzten Quellen und künstlich hergestellten $CO_2$- Wässer haben meist eine weit höhere Konzentration ( HILLE und BURR (19)). Diese Übersättigung hat wahrscheinlich keine therapeutische Bedeutung ( WITZLEB (41) ), ( HILLE und BURR (19) ). Witzleb weist aber darauf hin, dass Abstufungen im darunterliegenden Bereich bis zu einem unteren Grenzwert therapeutisch ausgenutzt werden können. Dieser untere Grenzwert ist bisher in keiner Arbeit festgelegt worden. Nur HENTSCHEL (16) sprach auf dem Kongress der deutschen Gesellschaft für physikalische Medizin im Oktober 1965 darüber, daß er mit einer Konzentration von 200 bis 400 mg freier gelöster Kohlensäure pro kg Wasser noch eine Hautrötung auslösen konnte.

Außer WITZLEB (42) weisen noch DIRNAGL und KAMM (8), HAEUSLER (14), HILLE und BURR (19), KRAMER und SARRE (22) darauf hin, daß die $CO_2$- Konzentration entscheidend für die Wirkung ist. Ein Konzentrationsgefälle vom Badeмilieu in die Haut sei - abgesehen von der Hautdurchblutung - Voraussetzung für eine $CO_2$- Diffusion in die Haut und damit für eine $CO_2$- Wirkung. Eine meßbare Wirkung ist aber sicherlich nur mit höheren Konzentrationen als mit der eben über dem $CO_2$-Partialdruck der Haut liegenden $CO_2$- Konzentration zu erreichen (HILLE und BURR (19)). Das gilt sowohl für Kohlensäurewasserbäder, wie sicherlich auch für Kohlensäuregas- und sprühbäder.

Die biologischen Wirkungen die z.B. BUDELMANN ( 3, 4,) GOLLWITZER-MEIER (10), GRÖDEL und WACHTER (11), DE LA HARPE (13), LILJESTRAND und MAGNUS (27), MIELKE und SCHÄFER (28), KELLER (20), STRASSBURGER (38) und WEBER (39) und andere gefunden haben, sind bei $CO_2$-Wasserkonzentrationen von mindestens 1g/ kg Wasser gefunden worden. Es handelt sich bei diesen Wirkungen vor allem um die im Experiment immer wieder festgestellte Erniedrigung von Herzfrequenz und Blutdruck,vor allem bei pathologisch erhöhten Werten, Schlagvolumenzunahme, Absinken der Kerntemperatur und periphere Gefäßerweiterung mit daraus resultierender intensiver Hautrötung. Außerdem wurde häufig ein gewisser sedierender Effekt des Kohlensäurebades beschrieben.

Für Kohlensäure g a s bäder ist eine Mindestkonzentration bisher nicht festgestellt oder festgesetzt worden. COBET und V. HAEBELER (5), DIRNAGL und KAMM (8), GRÖDEL und WACHTER (11), KUDERNA (24), KRETSCHMER (23), LINDENBERG (26), NEUSSER (28), PARADE (30), REICHEL (31), REICHEL und PALME (32), SCHNELLE (35), SCHULZ und BEST (37) und WIESNER (40) fanden $CO_2$- Gasreaktionen am Kreislauf bzw. an der Haut, die den Wirkungen im $CO_2$- Wasserbad entsprechen, soweit sie auf $CO_2$- Effekt beruhen. Die Befunde der einzelnen Untersucher weichen dabei teilweise stark von einander ab und sind häufig schwächer als bei den $CO_2$-Wasserbädern.

In neueren Arbeiten werden Kreislaufwirkungen der Kohlensäuregasbäder bestritten.(SCHULZ und AMELUNG (32), HILLE, BAUM und RENNER (18) ). COBET und V. HAEBELER (5) bezweifelten schon 1930 die $CO_2$- Aufnahme aus kalten Bädern.

Die verwendeten $CO_2$- Gaskonzentrationen werden in den

zitierten Arbeiten nur von KUDERNA (25) genau angegeben:

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 5 cm | vom | Boden | der | Piscine | 77,3 Vol % $CO_2$ |
| 45 cm | " | " | " | " | 34,3 Vol % $CO_2$ |
| 105 cm | " | " | " | " | 2,1 Vol % $CO_2$ |

Er stützt sich bei diesen Angaben auf eine Arbeit von KOMMA und SCHEMINSKY (21). PALME (30) und SCHNELLE (35) machen ebenfalls Angaben zur Konzentration, geben aber keine genauen Meßstellen an. Desgleichen machen ECKERVOGT (9), HILLE, BAUM und RENNER (18) nur Angaben über die Zusammensetzung des verwendeten Quellgases, nicht aber über die Konzentration im Bad. Statt dessen geben zB. ECKERVOGT (9), SCHULZ und AMELUNG (36), KRETSCHMER (23) und PARADE das Verlöschen einer brennenden Kerze als Maß für eine genügend hohe $CO_2$- Konzentration an.

Angaben zur Abhängigkeit der Wirkung von der Feuchtigkeit des Gases machen ECKERVOGT (9), HENTSCHELL (15), NEUSSER (29), SCHEMINSKY (34), COBET undV. HAEBELER (5), GRÖDEL und WACHTER (11) im Sprudelgasbad und SCHULZ und AMELUNG (36). Außer ECKERVOGT sowie SCHULZ und AMELUNG fanden alle Autoren stärkere Kreislaufveränderungen im $CO_2$-Gasbad bei feuchter Haut als bei trockener Haut, wobei allerdings die Feuchtigkeit der Haut auf sehr unterschiedlichem Wege erreicht wurde. COBET brachte die Patienten durch Temperaturen von 38 - 50°C zum Schwitzen, NEUSSER leitete das Gas durch Wasser, GRÖDEL und WACHTER, SCHULZ und AMELUNG sättigten das Bademilieu mit Wasserdampf, HILLE, BAUM und RENNER, die nur mit feuchtem Gas arbeiten, leiteten künstlich hergestellte Kohlensäure durch Wasser, oder drosselten eine $CO_2$- Wasserleitung von einer Quelle so, daß durch Wirbelbildung und plötzliche Entspannung hinter der Drosselstelle Kohlendioxyd aus dem Wasser entwich.

In einigen der zitierten Arbeiten stützen sich die Autoren auf Angaben älterer Untersucher.

Kreislaufuntersuchungen in Kohlensäure s p r ü h-bädern sind bisher von HILLE, BAUM und HERTLEIN (7) und von SCHEIDEMANDEL (33) vorgenommen worden. Beide Untersucher konnten keine den $CO_2$- Wasser- oder Gas-bädern entsprechende Kohlensäurereaktionen finden.

In keiner der beiden Arbeiten werden Angaben zur $CO_2$- Konzentration gemacht. SCHEIDEMANDEL weist aber in seiner Arbeit schon darauf hin, daß möglicherweise bei der von ihm benutzten Sprühbadeanlage nicht genügend hohe $CO_2$- Konzentrationen erreicht werden, um eine Kreislaufwirkung zu erzielen.

## 3. Aufgabenstellung

1. Es war notwendig, zur Bestimmung von Kohlensäurekonzentrationen möglichst zuverlässige, schnell durchführbare und relativ einfache Bestimmungsmethoden für Kohlendioxyd in Lösungen und in Gasgemischen zu finden.

2. Es war festzustellen, bei welchen Mindestkonzentrationen der Kohlensäure als Gas oder in gelöster Form eine den Kreislaufreaktionen voraus oder mit ihnen einhergehende Wirkung an der Haut, nämlich Hautrötung, auftritt, die als eine Voraussetzung für die typische Kreislaufumstellung angesehen wird.

3. Es war zu klären, ob in dem vorhandenen, von Dirnagl, Fick und Schneider entwickelten und in Bad Wiessee zur Anwendung gebrachten S p r ü h b a d sich zusätzlich unter Verwendung kohlensäurehaltigen Wassers oder gasförmiger Kohlensäure die notwendige Mindestkonzentration im Bereich der Haut erreichen lässt und ob sich das Kohlensäurebad auch als Kohlensäure s p r ü h b a d zu einer therapeutisch sinnvollen Einrichtung ausbauen lässt.

4.Methode und Untersuchungsergebnisse

A.) I.Fragenkomplex: Es war notwendig, zur Bestimmung von Kohlensäurekonzentrationen möglichst zuverlässige, schnell durchführbare und relativ einfache Bestimmungsmethoden für Kohlendioxyd in Lösungen und in Gasgemischen zu finden.

a.) Methoden zur Bestimmung von Kohlensäurekonzentrationen in Wasserbädern und Auswahl der für unsere Versuchsbedingungen günstigsten Bestimmungsmethode.

Von den verschiedenen Möglichkeiten Kohlendioxyd in Lösungen bzw. in Gasgemischen zu bestimmen, benutzten wir zunächst die gravimetrische und die konduktometrische Methode.

Zur gravimetrischen Bestimmung wird die freie , gelöste Kohlensäure einer Wasserprobe an Natronlauge gebunden, dann durch Ansäuern und Kochen die Gesamtkohlensäure ausgetrieben und an Natronasbest oder Natronkalk gebunden. Die Gewichtsdifferenz der Bindesubstanz ergibt die Gesamtmenge der vorhandenen Kohlensäure. Die Menge an freier,gelöster Kohlensäure ergibt sich dann entweder aus der Differenz zu einer genauso behandelten Wasserprobe, aus welcher zuvor die freie, gelöste Kohlensäure durch ein $CO_2$-freies Gas, z.B. Stickstoff, ausgetrieben wurde, oder aus dem pH der Ausgangslösung.

Konduktometrisch bestimmt man die Änderung des elektrischen Widerstandes einer definierten Menge verdünnter Natronlauge nach Einleiten von $CO_2$, das aus einer Wasserprobe durch Versetzen mit einer Säure ausgetrieben wird. Dabei benutzt man die unterschiedlichen spezifischen Leitfähigkeiten von Natronlauge und Natriumkarbonatlösung. Die Menge an freier, gelöster Kohlensäure ergibt sich wieder aus der Differenz zu dem Wert, der aus einer entsprechenden Wasserprobe gewonnen wurde,

aus welcher zuvor die freie, gelöste Kohlensäure ausgetrieben worden ist.

Im Laufe der Untersuchungen stellte sich heraus, daß sich die besonderen Bedingungen des Sprühbades nicht für diese Art der $CO_2$-Bestimmung eignen, da sie mit viel Aufwand an Laboreinrichtung und Zeit verbunden sind. Eine gleichzeitige Durchführung von $CO_2$-Messung und Badeversuch war deshalb nicht möglich.

Wir verwendeten zur Herstellung des Sprühbades eine Lösung von Natriumbikarbonat und imprägnierten diese unter Druck mit $CO_2$-Gas. Dabei ließ sich für eine Messung der freien Kohlensäure im Sprühwasser die Tatsache ausnutzen, daß eine einfache Beziehung zwischen dem Gehalt an freier Kohlensäure und dem pH-Wert des Wassers besteht. Dazu wurde zunächst eine Probe der Ausgangslösung auf ihren Gehalt an Bikarbonationen analysiert. Während der Versprühung konnte dann durch pH-Messung an verschiedenen Stellen der Sprühkammer sofort auf den Gehalt an freier Kohlensäure am Meßort geschlossen werden.

Die verwendete Natriumbikarbonatlösung hatte größtenteils eine Konzentration von 3,2 g/l Leitungswasser, welches dem Gehalt an Bikarbonat des Bad Wiesseer Quellwassers entspricht. Zur Sicherheit wurde aber die jeweilige Bikarbonatkonzentration durch automatische Titration bestimmt, da das Leitungswasser einen gewissen Anteil an Bikarbonat enthält und technisches Natriumbikarbonat schon zum Teil zersetzt sein kann. ( Es wurde eine Lösung dieser Zusammensetzung benutzt, da ursprünglich die Kohlensäure durch Freisetzung aus der Lösung durch Zusatz verdünnter Ameisensäure gewonnen wurde. Dieses Verfahren zur Herstellung von Kohlensäurebädern wird in Bad Wiessee seit langem praktiziert.) In Fällen, in denen wir mit reinem Leitungswasser arbeiteten, wurde die Bikarbonatkonzentration des Leitungswassers bestimmt und als Berechnungsgrundlage benutzt.

Der Zusammenhang zwischen dem pH-Wert und dem Gehalt an freier Kohlensäure $[CO_2+H_2CO_3]$ ergibt sich aus dem Massenwirkungsgesetz:

1. $K = \frac{[H^+][HCO_3]'}{[CO_2+ H_2CO_3]}$ 2a $H^+ = K\frac{[CO_2+H_2CO_3]}{[HCO_3]'}$

2b. $pH = pK - \log\frac{[CO_2+ H_2CO_3]}{[HCO_3]'}$

3. $pH - pK = \log[HCO_3]' - \log[CO_2+ H_2CO_3]$

Für die Berechnung der $CO_2$-Konzentration war es erforderlich, möglichst genaue Werte für die Gleichgewichtskonstante K bzw. pK zu finden.
Nach Werten von B. E. CONWAY( 6) wurde der pK-Wert der Kohlensäure in Abhängigkeit von der Temperatur und von der Ionenkonzentration am Beispiel von Natriumcloridlösung dargestellt. ( Abb. 1 und 2)

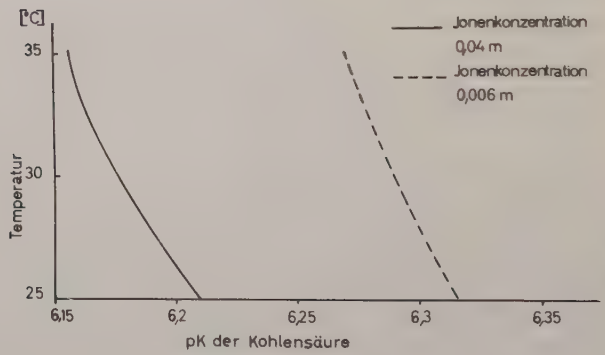


Abb. 1 Abhängigkeit des pK-Wertes der Kohlensäure von der Temperatur in verschiedenen Lösungen.

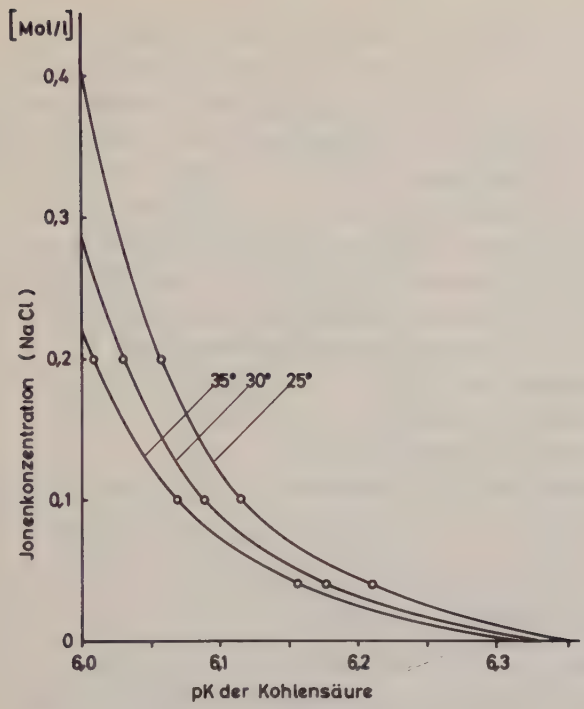


Abb. 2 Abhängigkeit des pK-Wertes der Kohlensäure von der Ionenkonzentration ( NaCl) bei verschiedenen Temperaturen.

Aus diesen Kurven wurde der jeweils zutreffende pK-Wert für die Wasserproben extrapoliert.

Die Ionenkonzentration unserer Lösungen wurde hauptsächlich durch den Gehalt an Natriumbikarbonat bestimmt. Die Angaben über den Einfluß von Natriumchlorid auf die Gleichgewichtskonstante der Kohlensäure sind für die hier geforderte Genauigkeit durchaus auf Natriumbikarbonat übertragbar.

Wird zu einer Bikarbonatlösung $CO_2$ unter Druck zugesetzt, so dissoziiert ein geringer Teil davon in $H^+$ und $HCO_3^-$ und führt zu einer Erhöhung der $H^+$-Ionen-Konzentration. In unserem Fall ergaben sich $H^+$-Ionenkon=

zentrationen von etwa $10^{-6}$ mol/l (o,ooooo1 mol/ l). Diese Konzentration entspricht auch der zusätzlichen $HCO_3^-$ Konzentration nach $CO_2$-Imprägnierung. Wenn die Bikarbonatkonzentration der Ausgangslösung ohnehin schon o,oo6 mol/l (Leitungswasser) oder o,o4 mol/l (die von uns verwendete Bikarbonatlösung) ist, wird durch die zusätzliche $CO_2$-Zugabe keine zu berücksichtigende Erhöhung der $HCO_3^-$ Konzentration erreicht. Die $HCO_3^-$Konzentration ist also als konstant anzusehen. Folgendes Rechenbeispiel entspricht unseren Bedingungen:

| | |
|---|---|
| Bikarbonatkonzentration | o,o4 mol/l |
| pH-Wert nach $CO_2$-Zugabe | 6,3o |
| pK-Wert für $35^o$ C(nach Abb.1) | 6,156 |

Setzt man diesen Wert in Gleichung 3 ein,so ergibt sich:

$$6{,}3o - 6{,}156 = \log o{,}o4 - \log (CO_2 + H_2CO_3)$$

$$\log (CO_2 + H_2CO_3) = 6{,}156 - 6{,}3o - 1{,}398$$

$$\log (CO_2 + H_2CO_3) = - 1{,}542$$

$$CO_2 + H_2CO_3 = o{,}o287 \text{ mol/l}$$

Zur schnelleren Auswertung der experimentellen Ergebnisse wurde

$$\frac{[CO_2 + H_2CO_3]}{[HCO_3]'}$$

gegen die Differenz pH - pK in Abb. 3 graphisch dargestellt. Man entnimmt für das vorige Rechenbeispiel den Anteil an freiem $CO_2 + H_2CO_3$ zu o,7175 von der vorliegenden Bikarbonatkonzentration von o,o4 mol/l; das sind

o,7175 . o,o4 = o,o287 mol/l freie Kohlensäure.

Für den speziellen Fall, daß die Bikarbonatkonzentration der Ausgangslösung stets o,o4 molar ist, gilt die in Abb. 4 in Form einer Exponentialfunktion dargestellte Abhängigkeit der Kohlensäure vom pH-Wert. Aus der Kurve läßt sich mit Hilfe des pH-Wertes direkt die vorhandene Menge an freier Kohlensäure in mg/kg ablesen.

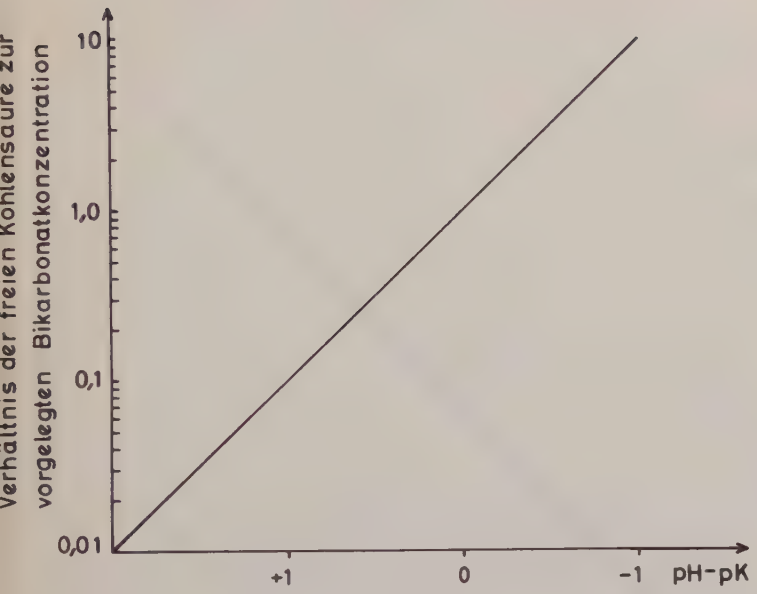


Abb. 3 Graphische Darstellung der Gleichung

$$pH - pK = -\log \frac{[CO_2 + H_2CO_3]}{[HCO_3]'}$$

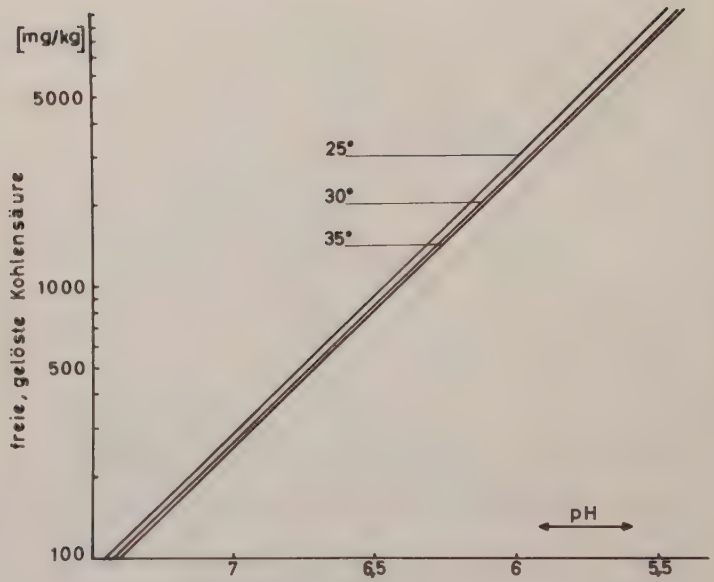


Abb. 4 Konzentration an freier Kohlensäure in einer Lösung von 0,04 mol $NaHCO_3$ in Abhängigkeit vom pH. Dargestellt an Lösungen mit Temperaturen von 25°, 30° und 35°C im pH-Bereich zwischen 5,5 und 7,5.

b. Methoden zur Bestimmung von Kohlensäurekonzentrationen in Gasgemischen.

Ich bestimmte die $CO_2$-Konzentration in unseren Gasbädern gasanalytisch und elektrochemisch.

Zur Ananlyse bediente ich mich des Gerätes nach ORSAT. 100 ml Gasgemisch werden in einen mit einer Einteilung versehenen Glaszylinder durch Ablassen einer zuvor in diesem Zylinder befindlichen Sperrflüssigkeit gesaugt, bis sich der Flüssigkeitsspiegel unter Vermeidung einer Druckdifferenz auf die Markierung 0 eingestellt hat. Nach Verschluß des Röhrensystems wird durch Zurückdrücken der Sperrflüssigkeit dieses Gasgemisch mehrmals in eine mit Kalilauge gefüllte Flasche getrieben und das Kohlendioxyd ausgewaschen. Die dadurch entstehende Verminderung des Gasvolumens wird nach Zurückdrücken des restlichen Gases in den Zylinder gemessen.

Die elektrochemische $CO_2$-Messung führte ich indirekt mit der Sauerstoffelektrode nach CLARK durch. Durch eine Teflonmembran dringt der Sauerstoff auf eine Gold-Kathode und Silber-Anode, die eine Vorspannung von o,8 Volt führen und mit KCl-Gel elektrolytisch verbunden sind. Die elektrochemische Reaktion ist dabei spezifisch für Sauerstoff. Bei Messungen in $CO_2$-Luftgemischen gibt uns die Verminderung von Sauerstoff gleichzeitig die Zunahme von Kohlensäure an, wenn sich außer $CO_2$ kein weiteres Gas in der Mischung ändert. Für meine Untersuchungen fand ich für den interessierenden Bereich eine lineare, komplementäre Beziehung für Vol% $O_2$ gegen Vol% $CO_2$.

Ich führte mit den beiden mir zur Verfügung stehenden Geräten Vergleichsmessungen durch . Die Meßergebnisse zeigten eine Abweichung von o-3% mit der Sauerstoffelektrode gegenüber dem Wert nach Orsat.

Bei Messungen in Gasgemischen unter zusätzlicher Verwendung von Wasserdampf wurde die Sauerstoffelektrode nicht benutzt.

B.) II. Fragenkomplex

Es war festzustellen, bei welchen Mindestkonzentrationen der Kohlensäure als Gas oder in gelöszter Form eine den Kreislaufreaktionen voraus oder mit ihnen einhergehende Wirkung an der Haut, nämlich Hautrötung, auftritt, die üblicherweise als eine Voraussetzung für die typische Kreislaufumstellung angesehen wird.

a. Durchführung von Armbädern zur Feststellung der für eine Hautrötung benötigten Mindestkonzentration an $CO_2$ in Kohlensäurelösungen.

Ich führte an 6jugendl.gesunden Versuchspersonen Armbäder in $CO_2$-haltigem Wasser verschiedener Konzentrationen durch. Als Kriterium einer biologischen Wirkung diente die Hautrötung.

Die in Bad Wiessee geübte Methode , kohlendioxydhaltiges Wasser durch Zugabe von Ameisensäure zu Bikarbonatlösungen zu gewinnen, erwies sich für unsere Zwecke als ungünstig, da dabei eine genaue Feststellung des $CO_2$-Gehaltes kaum möglich war. Ich gewann deshalb $CO_2$-haltiges Wasser durch Imprägnieren von bikarbonathaltigem Leitungswasser. Die Herstellung der verschiedenen Verdünnungen erfolgte durch Zugabe von nicht imprägnierter Lösung zu der $CO_2$-gesättigten Lösung.

Die verschiedenen Grade der Hautrötung registrierte ich zusammen mit dem dazugehörigen pH-Wert der Badelösung und berechnete mit Hilfe des pH-Wertes und des Bikarbonatgehaltes vor Imprägnierung die Konzentration an freier Kohlensäure.

Alle Versuche fanden bei einer Raumtemperatur von 21- 23°C und einer durchschnittlichen relativen Luftfeuchtigkeit von 4o-5o % statt.

Zur Kontrolle wurden Armbäder mit Leitungswasser und mit Bikarbonatlösungen ,die nicht mit $CO_2$-Gas imprägniert waren , bei verschiedenen Temperaturen

durchgeführt, um einerseits eine Hautrötung durch Temperatureinfluß und andererseits durch Bikarbonat= einwirkung auszuschließen.

Bei der Hautrötung unterschied ich 3 verschiedene Rötungsgrade und teilte sie wie folgt ein:

1. eben sichtbare Hautrötung
2. deutliche Hautrötung
3. mit scharfem Rand gegen nicht gebadete Haut= stellen abgesetzte Rötung

b. Durchführung von Gas-Armbädern zur Feststellung der für eine Hautrötung benötigten Mindestkonzentrat= ion an Kohlendioxyd in $CO_2$-Gasgemischen.

Die $CO_2$Gasbäder stellte ich durch Einleiten von $CO_2$- Luftgemischen in einen Glaszylinder (Durchmesser 14 cm,Höhe 47 cm) her. Das Luftgemisch gewann ich , indem ich gasförmige Kohlensäure aus Stahlflaschen und Luft aus einem Kompressor über ein T-Stück unter ganz geringem Druck in einen gemeinsamen Schlauch leitete. Die Versuchsperson mußte ihren Arm möglichst ruhig bis etwa zum Ellenbogen in das ständig sehr langsam und mit konstanter Konzentration strömende Gasgemisch halten.

Die $CO_2$-Konzentration wurde nach Orsat und mit der Sauerstoffelektrode nach Clark gemessen. Durch Ein= bringen des Glaszylinders in ein Wasserbad konnte die Temperatur des Gases auf Hauttemperatur gebracht werden.

Die Bäder wurden bei trockener Haut, feuchter Haut und eingefetteter Haut durchgeführt. Dabei wurden sowohl wasserhaltige Hautcreme als auch wasserfreie Vaseline benutzt.

Die Bedingungen im Versuchsraum waren die gleichen wie bei den Wasserbädern. Der Rötungsgrad wurde zusam= men mit Raumtemperatur, Luftfeuchtigkeit und $CO_2$-Konzen= tration im Zylinder registriert. Die verschiedenen Röt= ungsgrade wurden wie bei den Wasserbädern eingeteilt.

c. Untersuchungsergebnisse der Wasser-und Gasarmbäder.

In den folgenden Darstellungen der Meßergebnisse wurden die Mittelwerte $\bar{m}$ und die Standard-Abweichung $\pm \sigma$ angegeben. $\sigma$ wurde für die einzelnen Meßergebnisse nach der Gleichung

$$\sigma = \sqrt{\frac{(m_i - \bar{m})^2}{n-1}}$$

berechnet.

Bei den $CO_2$-Armbädern im Wasser konnte ich in 11 Versuchen an 6 Versuchspersonen feststellen, daß die mittlere Konzentration an freier, gelöster Kohlensäure, bei der eine eben sichtbare Rötung auftritt, 32o $\pm$ 2o mg/ kg Wasser beträgt.

Die Hautrötung war bei einer $CO_2$-Konzentration von 39o $\pm$ 17 mg/kg deutlich sichtbar.

Eine mit scharfem Rand gegen ungebadete Hautstellen abgesetzte Rötung trat bei 52o $\pm$ 31 mg/ kg auf.

| $CO_2$-Konzentration im Wasser. Mittelwert und Standard-Abweichung in mg/ kg | Rötungsgrade |
|---|---|
| 32o $\pm$ 2o | 1 |
| 39o $\pm$ 17 | 2 |
| 52o $\pm$ 31 | 3 |

Tabelle 1. Hautrötungsgrade bei steigenden $CO_2$-Konzentrationen im Badewasser. Untersuchungsergebnisse aus 11 Versuchen an 6 Versuchspersonen.

Gleichzeitig durchgeführte Bäder mit Bikarbo= natwasser verschiedener Temperaturen ergaben , daß reine Bikarbonatlösung der von uns benutzten Kon= zentration ( 3,2 g/kg Wasser) bei Temperaturen zwischen 26° und 36,5°C bei keiner Versuchsperson Hautrötungen hervorrief. ( Abb. 5)
Die Hautrötung beim Baden in $CO_2$-imprägniertem Wasser beruht somit bei unseren Versuchen nicht auf Temperatureffekten.

Eine Versuchsperson, bei der Armbäder mit noch niedrigeren Wassertemperaturen durchgeführt wurden, zeigte schon eine Hautrötung bei 22°C.

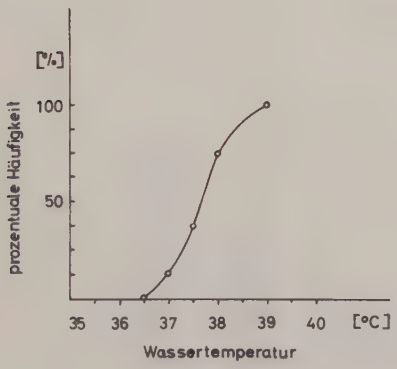


Abb.5 Prozentuale Häufigkeit des Auftre= tens einer Hautrötung in Abhängigkeit von der Wassertemperatur einer Bikarbonatlösung von 3,2 g/kg Wasser.( Meßwerte von 8 Ver= suchspersonen.)

Auch bei Gasbädern stellte ich fest, daß die Hautrötung konzentrationsabhängig und nicht bei jeder Gaskonzentration gleich stark ist. Sie wird um so intensiver, je höher die Konzentration ist. Ausserdem fiel auf, daß die Rötungsintensität bei feuchter Haut immer stärker ist als bei trockener Haut. Dabei spielt die Dauer der Einwirkung über eine Mindestdauer von etwa 5 Minuten hinaus, keine Rolle. Die erste eben sichtbare Rötung stellte ich bei feuchter Haut bei einem Gasluftgemisch mit einem $CO_2$-Gasgehalt von 30 Vol % fest. Bei geringeren $CO_2$- Konzentrationen trat noch keine Hautrötung auf.

Bei trockener Haut lag diese Grenze bei etwa 40 Vol.%. Eine mit scharfem Rand abgesetzte Rötung trat erst bei 50 Vol.% auf und auch nur bei feuchter Haut. Bei trockener Haut war die Rötung schwächer und auch nie scharf gegen unbegaste Hautstellen abgesetzt. (Abb. 6)

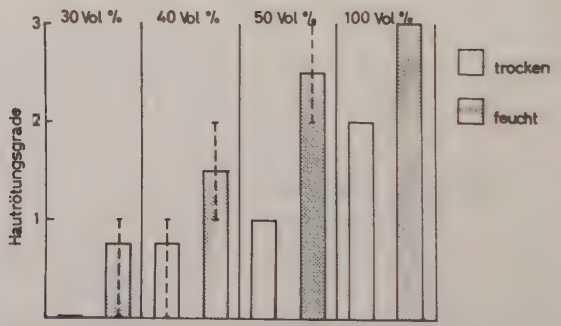


Abb. 6 Hautrötungsgrade bei Armbädern in $CO_2$-Gas-Luftgemischen. Darstellung der Mittelwerte und Grenzwerte aus Versuchen an 4 Versuchspersonen.

Bei den Versuchen mit eingefetteter Haut lies sich feststellen, daß wasserhaltige Hautcreme wie Wasser die Hautrötung bei den entsprechenden $CO_2$- Konzentrationen begünstigt, daß jedoch Vaseline gegenüber trockener Haut keinen Unterschied zeigt.

C.) III. Fragenkomplex.

Es war zu klären, ob in dem vorhandenen, von DIRNAGL, FICK und SCHNEIDER entwickelten und in Bad Wiessee zur Anwendung gebrachten S p r ü h b a d sich zusätzlich unter Verwendung kohlensäurehaltigen Wassers oder gasförmiger Kohlensäure die notwendige Mindestkonzentration im Bereich der Haut erreichen lässt und ob sich das Kohlensäurebad auch als Kohlensäure s p r ü h b a d zu einer therapeutisch sinnvollen Einrichtung ausbauen lässt.

a. Versuchsaufbau der Sprühbadversuche.

Als Sprühbad dient eine über einem Holzrost stehende etwa 1cbm Rauminhalt fassende Kammer, mit einem Überzug aus Plastikfolie. Diese Kammer ist von DIRNAGL, FICK und SCHNEIDER entwickelt worden und diente den Bad Wiesseer Sprühbäder als Vorbild. Die Versuchsperson bzw. der Patient sitzt in der Kammer auf einem Stuhl aus Stahlrohr und Plastikgeflecht, der eine allseitige Besprühung des Körpers zuläßt. Der Kopf der Versuchsperson ragt aus der am Hals anliegenden Plastikfolie soweit heraus, daß das oben aus der Kammer ausströmende Gas über den Rand der Kammer abfließen kann, ohne in Mund oder Nase des Patienten einzudringen.

An der Innenseite der Kammer waren ursprünglich 18 Zweistoffdüsen so angebracht, daß die Körperoberfläche der Versuchsperson gleichmäßig von allen Seiten besprüht wurde. Das Wasser dazu strömte aus einem über der Kammer angebrachten Behälter über ein Schlauchsystem zu den einzelnen Düsen und wurde dort mit Preßluft bzw. $CO_2$-Gas aus Stahlflaschen, die an die Düsen durch ein weiteres Schlauchsystem herangeführt wurde, zerstäubt. Das Wasser konnte mit einem an einen Thermostaten angeschloßenen Tauchsieder auf jede beliebige Temperatur gebracht und auf ihr gehalten werden.

Die Temperatur im Sprühraum konnte durch eine Warmwasserheizspirale, die sich unter dem Sitz des Stuhles befand und durch die Warmwasserleitung des Hauses über eine Mischbatterie gespeist wurde, reguliert werden. Zusätzlich war es möglich Heizdampf in die Kammer zu leiten.

Die Temperaturen des Wassers, im Raum und in der Sprühkammer wurden mit Thermoelementen gemessen und mit Mehrfachschreiber registriert. Die Raumfeuchtigkeit wurde mit dem Haar-Hygrometer gemessen.

Dieser geschilderte Versuchsaufbau wurde in Einzelheiten mehrfach so geändert, wie es sich aus den Erkenntnissen ergab, die wir bei den Versuchen sammelten.

1. Es wurde anstelle des offenen Wasserbehälters ein Kessel benutzt, in welchen die Bikarbonatlösung sofort nach Zusatz der Ameisensäure (die zur Austreibung der Kohlensäure aus dem Bikarbonat diente) unter Druck von 6 Atü gesetzt werden konnte. Zu diesem Zweck benutzten wir Preßluft. Gleichzeitig konnte die Badelösung durch einen im Kessel installierten Tauchsieder auf jede gewünschte Temperatur gebracht werden. Die Zweistoffsprühdüsen wurden für diese Einrichtung durch Einstoffdüsen ersetzt.

2. Das Wasser wurde durch Einleiten von $CO_2$-Gas in den Kessel mit Kohlensäure imprägniert. Gleichzeitig wurde eine Umwälzanlage an den Kessel gebaut, durch die es möglich war, das Gas über der im Kessel stehenden Flüssigkeit abzusaugen und wieder unten in den Kessel hineinzupumpen. Auf diese Weise wurde das Wasser ständig durcheinander gewirbelt und seine Imprägnierung mit $CO_2$ ohne größeren $CO_2$-Verlust beschleunigt. Der in Lösung gegangene Anteil an $CO_2$ wurde durch kontinuierliche Zugabe von $CO_2$-Flaschengas solange ersetzt, bis der an einem Manometer ablesbare Druck in dem Kessel-Pumpem-System trotz Unterbrechung der $CO_2$-Zufuhr gleich blieb, d.h. bis die maximale

Löslichkeit von $CO_2$- im Wasser bei einem bestimmten Druck und unter einer bestimmten Temperatur erreicht war.

3. Eine neue Sprühkabine wurde gebaut, die einen gasdichten Verschluss des Sprühraumes nach unten und den Seiten gewährleistete. Gleichzeitig wurde in der neuen Sprühkammer der Totraum verkleinert.
Ausserdem wurden neue Düsen angebracht, um mit einem grösseren Sprühkegel und grösseren Tröpfchen die Haut der Versuchsperson schneller und stärker zu befeuchten. Es wurde eine $CO_2$-Gasleitung in die Sprühkammer gelegt, um zusätzlich den Sprühraum von seinem Boden her mit Kohlendioxyd füllen zu können.

4. Um den $CO_2$-Gasverbrauch so niedrig wie möglich zu halten, wurde eine neue Zweistoffdüse konstruiert, bei welcher der Sprühkegel von einem $CO_2$-Gasmantel umgeben wurde. Die Düsen hatten jetzt getrennte Gas- und Wasserzuleitungen. So konnte verhindert werden, daß bei der plötzlichen Entspannung der Lösung an der Düse das Kohlendioxyd aus dem Wasser frei wurde. Bei Versuchen mit diesem Sprühbad ergab sich schliesslich, dass eine vorherige Imprägnierung des Wassers überflüssig war. Mit Zufuhr der Kohlensäure allein in Form des Gasmantels und unter Benutzung der Kohlensäure als Druckmittel gelang es, genügend hohe $CO_2$-Konzentrationen im Bereich des Körpers der Versuchsperson zu erzielen und eine kräftige Hautrötung hervorzurufen.

b. $CO_2$-Zugabe in der Sprühkammer.

Der Kohlensäuregehalt der Bäder wurde im Verlauf der Versuchsserie auf verschiedene Art hergestellt, um die für unsere Versuchsbedingungen günstigste Möglichkeit herauszufinden, und um das Kohlensäuresprühbad für den Patientenbetrieb nutzbar zu machen.

1. Ursprünglich wurde Leitungswasser unter $CO_2$-Gasdruck versprüht.

2. Das Leitungswasser wurde durch Bikarbonatwasser Bad Wiesseer Konzentration ( 3,2 g/ kg ) ersetzt und die Kohlensäure durch Zugabe von Ameisensäurelösung verschiedener Konzentration aus dem Bikarbonat ausgetrieben.

3. Diese Lösung wurde zusätzlich mit $CO_2$-Gas versprüht.

4. Das Bikarbonatwasser wurde mit $CO_2$-Gas in einer Druckkesselanlage imprägniert und unter $CO_2$-Gasdruck versprüht.

5. Die Sprühkabine wurde zusätzlich von ihrem Boden her mit $CO_2$-Gas gefüllt.

6. Diese Gaszufuhr wurde aus Rentabilitätsgründen mit Hilfe von Zweistoffdüsen so vorgenommen, daß die Sprühkegel von einem Gasmantel umgeben waren. Dadurch fiel gleichzeitig die zeitraubende Füllung der Kammer mit Gas vor Sprühbeginn fort.

7. Es wurden zur Kontrolle, ob Hautrötungen auch in bikarbonatfreier Kohlensäurelösung auftreten und ob genügend hohe $CO_2$-Konzentrationen auch in Leitungswasser erreicht werden, Sprühbäder auch ohne Bikarbonatzusatz durchgeführt.

c. Durchführung der $CO_2$-Sprühbäder an Versuchspersonen

Messung der $CO_2$-Konzentration im Sprühbad.

Die Versuchspersonen mußten in der geschilderten Art (siehe Punkt a) in der von uns abgeänderten und unter Punkt a3 bzw. a4 beschriebenen Sprühkammer Platz nehmen.

Zur Kontrolle der Hautrötung wurden den Versuchspersonen Tüten aus durchsichtiger Polyäthylenfolie über einen Arm und ein Bein gezogen und mit "Tesakrep" wasser- und gasdicht oberhalb des Ellenbogens bzw. unterhalb des Kniegelenks befestigt. Damit wurde an diesen Stellen eine Kohlensäureeinwirkung auf die Haut -und damit eine Hautrötung- soweit wie möglich verhindert.

Die Gaskonzentration in der Sprühkammer wurde nach Orsat und mit der Sauerstoffelektrode nach Clark gemessen. Das Orsat-Meßgerät wurde mit einem dünnen Schlauch mit der Sprühkammer verbunden. Durch Ansaugen des Gases vor Meßbeginn wurde verhindert, daß die im Schlauch stehende Luft das Meßergebnis verfälschte. Die Sauerstoffelektrode, die über ein längeres Kabel mit dem Meßinstrument verbunden ist, wurde so in die Sprühkammer gehängt, daß die Gaskonzentration, ebenso wie mit dem Orsat, in verschiedenen Höhen der Sprühkammer gemessen werden konnte. Die Abnahme an Sauerstoff gab dabei die Zunahme an $CO_2$ an.

Als günstigste Methode der $CO_2$-Messung im Wasser erwies sich die pH- Messung und die Berechnung der $CO_2$-Konzentration aus dem pH und pK der Badelösung. Die Wasserproben wurden teilweise mit Bechergläsern von den Düsen abgenommen. Bei einigen Versuchen wurde eine Einstab-Glaselektrode des pH-Meßgerätes zum Zweck möglichst genauer Nachahmung der Verhältnisse auf der

Haut direkt in die Sprühkammer gehalten und der pH des Sprühwassers an verschiedenen Stellen der Sprühkammer gemessen.

d. Untersuchungsergebnisse der Sprühbadversuche.

α. $CO_2$-Wasserkonzentration und $CO_2$-Gaskonzentration im Sprühbad.

Bei den Sprühbadversuchen mit den Versuchsaufbauten 1 und 2 und bei der Kohlensäurezugabe nach den Methoden 1 bis 4, konnten wir weder bei den Versuchspersonen Hautrötungen feststellen, noch in Sprühraummitte maßanalytisch und elektrochemisch genügend hohe $CO_2$-Konzentrationen finden. Die $CO_2$-Konzentrationen lagen zwischen 500 und 600 mg/ kg Sprühwasser und im Bereich der Haut zwischen 0 und 200 mg/ kg Sprühwasser. Erst beim endgültigen Umbau des Sprühraumes zu einem kombiniertem Gas-Sprühbad ergaben sich zunächst bei zusätzlicher Einleitung von $CO_2$-Gas und Versprühen von $CO_2$-imprägniertem Wasser genügend hohe $CO_2$-Konzentrationen im Bereich der Haut. Später erreichte ich dies auch mit Versprühung von nicht imprägniertem Wasser unter $CO_2$-Gasdruck und gleichzeitiger Zuleitung von $CO_2$-Gas durch die Düsen in Form des Gasmantels um den Sprühkegel.

Die $CO_2$-Messung mit Hilfe des pH-Meßgerätes ergab bei diesen Bädern an den Düsen Konzentrationen an gelöster, freier Kohlensäure zwischen 1050 und 1265mg/kg. Im Bereich der Haut lagen die Werte zwischen 750 und 900 mg/ kg. In Abb. 7 wird die mittlere $CO_2$-Konzentration einschließlich mittlerer Streuung der Mittelwerten in Abhängigkeit von der Badedauer dargestellt.

Bei Bädern ohne zusätzliche Zugabe von $CO_2$-Gas lagen die $CO_2$-Konzentrationen an den Düsen zwischen 500 und 600 mg/ kg und im Bereich der Haut der Versuchspersonen unter 200 mg/ kg (Abb. 7).

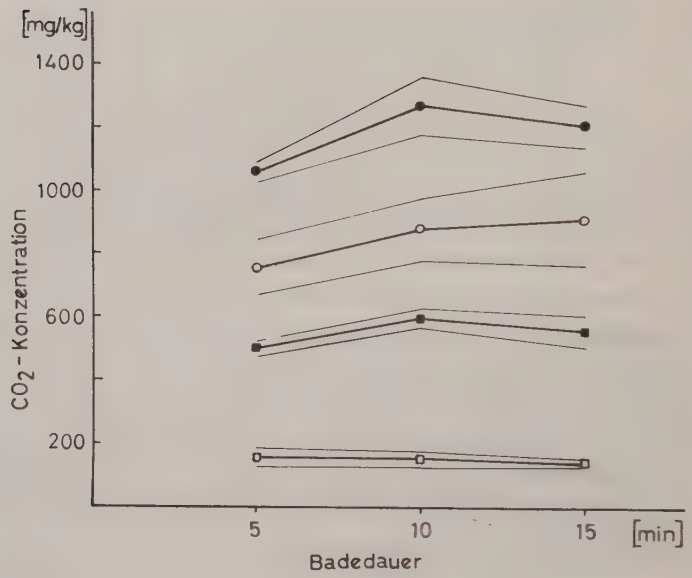


Abb. 7 $CO_2$-Konzentration im Sprühwasser als Funktion der Badedauer. Mittelwerte und mittlerer Fehler des Mittelwertes bei Luft als umgebendes Medium an der Düse ■ und im Sprühraum □ , sowie mit $CO_2$- Gasvorgabe an der Düse ● und im Sprühraum ○ .
Als Sprühwasser wurde Bikarbonatlösung verwendet.

In den Kontrollbädern, die mit Leitungswasser und unter zusätzlicher Zugabe von $CO_2$-Gas durchgeführt wurden lagen die $CO_2$-Konzentrationen im gleichen Bereich wie bei den entsprechenden Bädern , die mit Bikarbonatlösung durchgeführt wurden ( Abb. 8 )

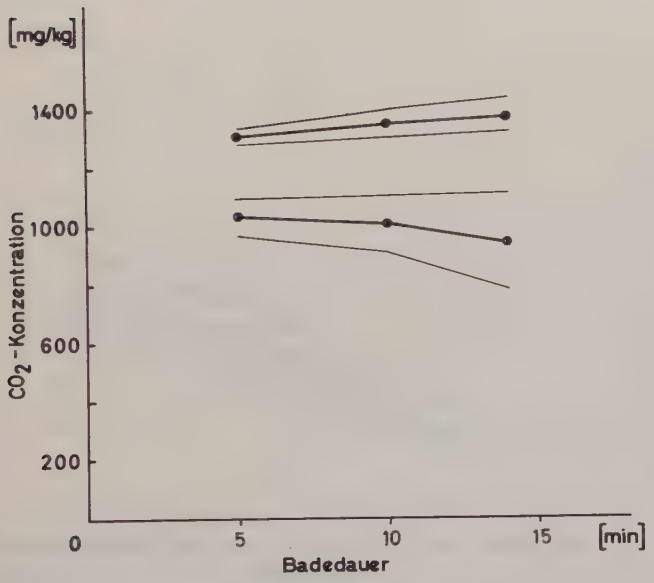


Abb. 8 $CO_2$-Konzentration im Sprühwasser als Funktion der Badedauer. Mittelwerte und mittlerer Fehler der Mittelwerte bei $CO_2$-Gas als umgebenden Medium an der Düse ● und im Sprühraum ⊖ . Als Sprühwasser wurde Leitungswasser benutzt.

Bei gleichzeitigen Messungen der $CO_2$-Gaskonzentrationen bei Bädern mit zusätzlicher Zugabe von $CO_2$-Gas fand sich im Sprühraum in Kniehöhe ein Ansteigen der $CO_2$-Gaskonzentration im Mittel von 47 auf 79 Vol %, in Brusthöhe von 3o auf 6o Vol % im Verlauf des 15 Minuten dauernden Bades .
( Abb. 9 und Tabelle 2)

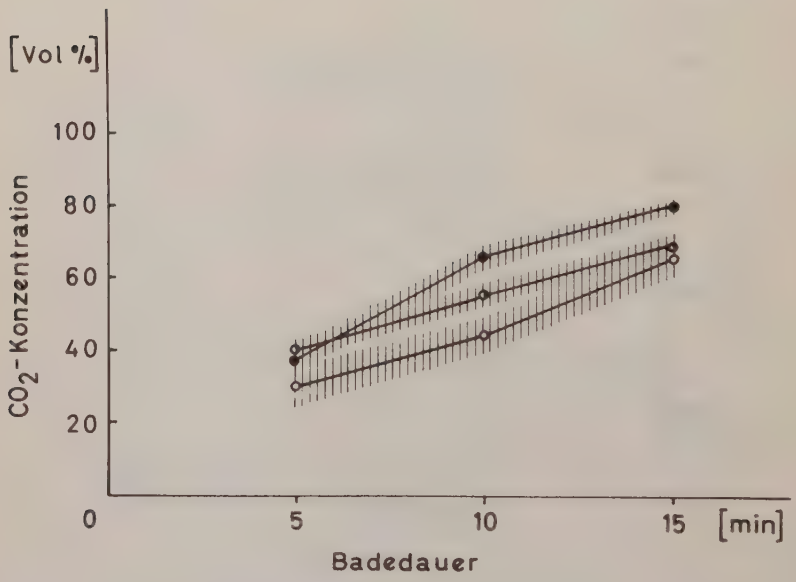


Abb. 9 $CO_2$-Gaskonzentrationen in verschiedenen Höhen des Sprühbades 5, 1o und 15 Minuten nach Badebeginn. Darstellung der Mittelwerte und der mittleren Fehler der Mittelwerte. In Brusthöhe ○ , Nabelhöhe ◑ und Kniehöhe ● der sitzenden Versuchsperson.

$CO_2$-Gaskonzentration

Mittelwerte und mittlerer Fehler der Mittelwerte in Vol %

| | Kniehöhe | Nabelhöhe | Brusthöhe |
|---|---|---|---|
| 5 min | 37 ± 3,8 | 4o ± 2,4 | 3o ± 5,7 |
| 1o min | 65 ± 3,4 | 55 ± 3,4 | 44 ± 5,2 |
| 15 min | 79 ± 2 | 69 ± 2,8 | 65 ± 5,29 |

Tab. 2 $CO_2$-Gaskonzentration im Sprühbad in Abhängigkeit von der Badedauer in Kniehöhe, Nabelhöhe und Brusthöhe der sitzenden Versuchsperson.

β. Hautrötung im Sprühbad.

In 23 Versuchen zeigten alle Versuchspersonen, sowohl bei Bädern mit $CO_2$-imprägnierter Bikarbonat=lösung und zusätzlicher Gasfüllung der Kabine, als auch bei der sparsameren Methode der Versprühung imprägnierten und auch nicht imprägnierten Wassers unter $CO_2$-Gasdruck und unter zusätzlicher Zuleitung von Gas in Form eines Gasmantels um den Sprühkegel, eine kräftige Hautrötung. Die Haut an den von Plastik=tüten geschützten Stellen ( Unterarm und Unterschen=kel ) war deutlich blasser gegenüber der besprühten Haut . Im Unterschied dazu trat bei Bädern ohne zu=sätzliche Zugabe von $CO_2$-Gas keine Hautrötung auf.

Bei Trockengasbädern, in denen eine $CO_2$- Gaskon-zentration von 65 - 70 Vol % in Brusthöhe der sitz-enden Versuchsperson erreicht wurde, war die Hautrö-tung nicht so intensiv und der Unterschied zwischen begaster und unter den Plastiktüten unbegaster Haut war nicht so deutlich wie in den Sprühbädern. Die Rötung hatte einen anderen Charakter, sie war mehr fleckig bläulich.

## 5. Diskussion

Nachdem es gelungen war, durch elektrische pH-Messung eine schnell und einfach durchführbare, genaue Meßmethode zur Bestimmung der Kohlensäurekonzentration im Wasser zu finden, liessen sich Bäder mit sehr gering konzentrierten Kohlensäurelösungen durchführen um festzustellen, bei welcher Mindestkonzentration eine noch eben merkbare Wirkung (Hautrötung) an der Haut auftrat. Dabei ist zu bemerken, daß Kreislaufwirkungen möglicherweise schon vor der sichtbaren Hautrötung auftreten, mit Sicherheit aber diese begleiten, die ja Ausdruck der Veränderung eines Teils der Strombahn, nämlich den Blutgefäßen der Haut ( BENAT (2), HENTSCHEL (16) ist. Ebenso machte ich Versuche mit Gas-Luft-Gemischen steigender $CO_2$-Gaskonzentrationen.

$CO_2$-Konzentrationen in Gas- und Wasserbädern sind vergleichbar, wenn man die Löslichkeit von $CO_2$-Gas zur Konzentration in Wasserbädern unter gleichen physikalischen Bedingungen in Beziehung setzt. Geht man von der in den "Begriffsbestimmungen für Kurorte, Erholungsorte und Heilbrunnen" geforderten Konzentration an freier, gelöster Kohlensäure von 1g/kg Wasser im Kohlensäurebad aus, so entspricht diese Menge etwa der bei 35°C und 750 mm Hg $CO_2$ löslichen Menge an $CO_2$-Gas pro Kg Wasser. Man kann also sagen, daß eine Konzentration von 1000mg pro Liter Wasser einer Konzentration von 100 Vol % im Gas entspricht.

Ich fand, daß eine Konzentration von etwa 320 mg freie, gelöste Kohlensäure pro Liter Wasser mit einigen individuellen Schwankungen erforderlich ist, um eine eben sichtbare Haurötung hervorzurufen. In Gasbädern ist eine Konzentration von 30 Vol % erforderlich, um eine eben sichtbare Hautrötung auf der angefeuchteten Haut hervorzurufen, also etwa die gleiche Menge an $CO_2$, nur einmal in gelöster Form, im anderen Fall in gasförmigem Zustand. Eine mit scharfem Rand gegen

nicht gebadete Hautstellen abgesetze , kräftige Rötung bekommt man mit 52o mg/ K; bzw. mit etwa 5o Vol % $CO_2$ in beiden Bäderarten.

Gasbäder bei nicht angefeuchteter Haut und bei einer relativen Luftfeuchtigkeit im Raum von 4o - 5o % und einer Raumtemperatur von 23° C nehmen insofern eine Sonderstellung ein, als bei ihnen eine Hautrötung erst bei 4o - 5o Vol% auftritt und nie so intensiv ist wie bei Bädern mit feuchter Haut, unabhängig von der Dauer der Einwirkung über eine Mindestdauer von etwa 5 Minuten hinaus. Die scharfe Abgrenzung gegen unbegaste Hautstellen konnte ich gar nicht beobachten.

In der Abb. 1o ist das Verhalten der Hautrötung in allen drei Bäderarten vereinfacht dargestellt. Sehr deutlich ist an den Kurvenverläufen dieser Darstellung das sehr ähnliche Verhalten der Hautrötung in Wasserbädern und Gasbädern mit feuchter Haut zu erkennen. Der Kurvenverlauf der Gasbäder mit trockener Haut ist dazu deutlich unterschiedlich.

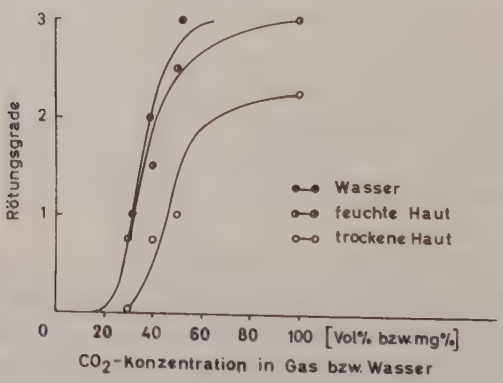


Abb. 1o Vereinfachte Darstellung der Hautrötung bei den 3 Bäderarten in Abhängigkeit von der $CO_2$ Konzentration. ● Armbäder in $CO_2$-Wasser, ● Armbäder in $CO_2$-Gas mit feuchter Haut, ○ Armbäder in $CO_2$-Gas mit trockener Haut.( Raumtemperat. 23°C, relat. Luftfeuchtigkeit 45 % )

Den von HENTSCHEL (16) auf dem Kongress für physikalische Medizin im Oktober 1965 beschriebenen etwa 2 mm breiten Ischämiestreifen an der Grenze zwischen gebadeter und nicht gebadeter Haut konnte ich ebenfalls in den Fällen bei $CO_2$-Wasserbädern beobachten, bei denen die Konzentration an freier, gelöster Kohlensäure durchschnittlich mindestens 50 mg% betrug, bei denen es also zu einer kräftigen, gegen ungebadete Hautstellen mit scharfem Rand abgesetzten Rötung gekommen war.

Die in Begriffsbestimmungen für Kurorte, Erholungsorte und Heilbrunnen (1) für $CO_2$-Wasserbäder geforderte Kohlensäurekonzentration liegt auch nach meinen Erfahrungen sicher im Bereich der kapillaren Wirksamkeit. Die von den verschiedenen Untersuchern bei Versuchen mit Wasserbädern von dieser Konzentration beschriebenen biologischen Veränderungen stimmen auch zum grossen Teil miteinander überein.

Für Kohlensäure g a s bäder fehlt aber eine solche Vorschrift. In den meisten Arbeiten über Kohlensäuregasbäder ließen sich keine oder nur ungenaue Angaben zur verwendeten $CO_2$-Gaskonzentration im Badebehälter finden. Genaue Angaben machen nur DIRNAGL und KAMM (8), PALME (30), REICHEL und PALME (32), KUDERNA (24) und SCHNELLE (35). KUDERNA stützt sich bei seinen Angaben auf Untersuchungen von KOMMA und SCHEMINSKY (21) und macht als einziger genaue Angaben über Höhe der $CO_2$-Meßstelle in der Badekabine. Diese Angabe erscheint mir sehr wichtig wenn man die Tatsache bedenkt, daß $CO_2$- schwerer als Luft ist.

Die Wiedersprüche, die das Schrifttum enthält, sind offensichtlich aus den verwendeten unterschiedlichen $CO_2$-Gaskonzentrationen zu erklären. Die $CO_2$-Aufnahme durch die Haut ist in den $CO_2$-Gasbädern sicherlich auch wie in den Wasserbädern von dem

Gesetz abhängig, , nach welchem die Diffusion von Gasen durch eine Membran proportional zu der Differenz zwischen beiden Seiten den Membran erfolgt. Somit ist die $CO_2$-Diffusion von der $CO_2$-Spannung im Gewebe ( nach LANDOIS ROSEMANN(25) 5o mmHg) und im Bademilieu abhängig. Um ein Konzentrationsgefälle vom Bademilieu in die Haut zu bekommen , müßte die $CO_2$-Spannung im Gasgemisch also größer als 5o mmHg sein. Das entspräche einer Konzentration von 6,7 Vol % $CO_2$. Bei Wasserbädern werden Konzentrationen von 1 g freier, gelöster Kohlensäure pro Kg Wasser verlangt. Das entspricht bei $35^0$ C einer Spannung von 687 mm Hg. Um im Gasgemisch eine entsprechend hohe Konzentration zu bekommen, müßte man mit 9o Vol % im Gasgemisch arbeiten.

Bei einer solchen Konzentration bekam ich eine deutliche Rötung auf der trockenen , unbekleideten Haut und bei feuchter Haut eine ebensolche kräftige Rötung wie bei Wasserbädern mit der entsprechenden $CO_2$-Konzentration.

So kann ich nach meinen Untersuchungen nicht darin mit ECKERVOGT(9) übereinstimmen, daß die $CO_2$-Spannung nicht ohne weiteres bestimmend für den Wirkungsgrad des Bades wäre. Schon die Angabe, daß bei Bädern, in denen er eine Wirkung feststellt, schnell strömendes Gas verwendet wurde, spricht dafür, daß er bei diesen Bädern eine ausreichend hohe $CO_2$-Konzentration erreichte. Desgleichen machte ich im Gegensatz zu Eckervogt wie NEUSSER(29), GRÖDEL und WACHTER(11) und wie auch teilweise WEIGMANN und SCHINDEWOLF(23) die Erfahrung, daß Wasser die Diffusion von $CO_2$- in die Haut fördert.

Worauf diese diffusionsfördernde Wirkung des Wassers beruht ist noch nicht geklärt. Mit den Diffusionsgesetzen steht sie insofern im Widerspruch, als im flüssigem Medium die Diffusionsge-

Den von HENTSCHEL (16) auf dem Kongress für physikalische Medizin im Oktober 1965 beschriebenen etwa 2 mm breiten Ischämiestreifen an der Grenze zwischen gebadeter und nicht gebadeter Haut konnte ich ebenfalls in den Fällen bei $CO_2$-Wasserbädern beobachten, bei denen die Konzentration an freier, gelöster Kohlensäure durchschnittlich mindestens 50 mg% betrug, bei denen es also zu einer kräftigen, gegen ungebadete Hautstellen mit scharfem Rand abgesetzten Rötung gekommen war.

Die in Begriffsbestimmungen für Kurorte, Erholungsorte und Heilbrunnen (1) für $CO_2$-Wasserbäder geforderte Kohlensäurekonzentration liegt auch nach meinen Erfahrungen sicher im Bereich der kapillaren Wirksamkeit. Die von den verschiedenen Untersuchern bei Versuchen mit Wasserbädern von dieser Konzentration beschriebenen biologischen Veränderungen stimmen auch zum grossen Teil miteinander überein.

Für Kohlensäure g a s bäder fehlt aber eine solche Vorschrift. In den meisten Arbeiten über Kohlensäuregasbäder ließen sich keine oder nur ungenaue Angaben zur verwendeten $CO_2$-Gaskonzentration im Badebehälter finden. Genaue Angaben machen nur DIRNAGL und KAMM (8), PALME (30), REICHEL und PALME (32), KUDERNA (24) und SCHNELLE (35). KUDERNA stützt sich bei seinen Angaben auf Untersuchungen von KOMMA und SCHEMINSKY (21) und macht als einziger genaue Angaben über Höhe der $CO_2$-Meßstelle in der Badekabine. Diese Angabe erscheint mir sehr wichtig wenn man die Tatsache bedenkt, daß $CO_2$- schwerer als Luft ist.

Die Wiedersprüche, die das Schrifttum enthält, sind offensichtlich aus den verwendeten unterschiedlichen $CO_2$-Gaskonzentrationen zu erklären. Die $CO_2$-Aufnahme durch die Haut ist in den $CO_2$-Gasbädern sicherlich auch wie in den Wasserbädern von dem

Gesetz abhängig, , nach welchem die Diffusion von Gasen durch eine Membran proportional zu der Differenz zwischen beiden Seiten den Membran erfolgt. Somit ist die $CO_2$-Diffusion von der $CO_2$-Spannung im Gewebe ( nach LANDOIS ROSEMANN(25) 5o mmHg) und im Bademilieu abhängig. Um ein Konzentrationsgefälle vom Bademilieu in die Haut zu bekommen , müßte die $CO_2$-Spannung im Gasgemisch also größer als 5o mmHg sein. Das entspräche einer Konzentration von 6,7 Vol % $CO_2$. Bei Wasserbädern werden Konzentrationen von 1 g freier, gelöster Kohlensäure pro Kg Wasser verlangt. Das entspricht bei $35^0$ C einer Spannung von 687 mm Hg. Um im Gasgemisch eine entsprechend hohe Konzentration zu bekommen, müßte man mit 9o Vol % im Gasgemisch arbeiten.

Bei einer solchen Konzentration bekam ich eine deutliche Rötung auf der trockenen , unbekleideten Haut und bei feuchter Haut eine ebensolche kräftige Rötung wie bei Wasserbädern mit der entsprechenden $CO_2$-Konzentration.

So kann ich nach meinen Untersuchungen nicht darin mit ECKERVOGT(9) übereinstimmen, daß die $CO_2$-Spannung nicht ohne weiteres bestimmend für den Wirkungsgrad des Bades wäre. Schon die Angabe, daß bei Bädern, in denen er eine Wirkung feststellt, schnell strömendes Gas verwendet wurde, spricht dafür, daß er bei diesen Bädern eine ausreichend hohe $CO_2$-Konzentration erreichte. Desgleichen machte ich im Gegensatz zu Eckervogt wie NEUSSER(29), GRÖDEL und WACHTER(11) und wie auch teilweise WEIGMANN und SCHINDEWOLF(23) die Erfahrung, daß Wasser die Diffusion von $CO_2$- in die Haut fördert.

Worauf diese diffusionsfördernde Wirkung des Wassers beruht ist noch nicht geklärt. Mit den Diffusionsgesetzen steht sie insofern im Widerspruch, als im flüssigem Medium die Diffusionsge-

schwindigkeit geringer sein sollte, als in Luft. Möglicherweise spielt die Qualität der Hautrötung, wenn sie ein bestimmtes Mindestmass erreicht, keine Rolle mehr für die Kreislaufwirkung. dazu müssten vergleichende Kreislaufuntersuchungen in trockenen und feuchten Bädern gemacht werden.

Bisher war es üblich, die $CO_2$-Konzentration im Gasbad mit dem "Versuch mit der brennenden Kerze" zu beurteilen. Man findet diese Angabe auch in den Anwendungsvorschriften für fabrikmässig hergestellte Gasbadekabinen oder-wannen. Es muss aber gesagt werden, dass diese Methode zur Feststellung, ob in einem Gasbad eine für therapeutische Zwecke genügend hohe Gaskonzentration herrscht, nicht ausreicht. Bei Versuchen mit Gasgemischen verschiedener Konzentrationen fand ich, dass eine Kerze bei einer $CO_2$-Konzentration von 15- 17 Vol% erlischt. Das ist zweifelsohne keine genügende Konzentration,um die erwünschte deutliche Hautreaktion zu erreichen.

Auch die Annahme, dass man aus der Zugabe einer definierten $CO_2$-Menge zu dem bekannten Rauminhalt eines Badebehälters genau errechenbare $CO_2$-Gaskonzentration bekommt, ist falsch, da ein Teil des zugeführten Kohlendioxyds aus dem nie luftdicht abschliessenden Badebehälter zusammen mit der verdrängten Luft entweicht. Dieser Fehlschluss findet sich auch in den Anleitungen fabrikmässig hergestellter $CO_2$-Gasbadekabinen oder-wannen zur Herstellung sogenannter künstlicher Kohlensäuregasbäder. Der $CO_2$-Verlust wird durch die Bewegungen der badenden Person, durch Wärmeentwicklung und noch mehr durch Zuleitung von Dampf oder Benutzung einer Umwälzanlage verstärkt.

So fand ich bei Messungen der für den Routinegebrauch vorhandenen $CO_2$-Gasbadewanne des Instituts folgende Werte: siehe Tabelle 3 und 4 und Abb. 11

$CO_2$-Gaskonzentration

Mittelwerte und mittlerer Fehler der Mittelwerte

in Vol %

| | am Boden | 25 cm vom Boden | 4o cm vom Boden |
|---|---|---|---|
| 5 min. | 34 ± 8 | 25 ± 2 | 23 ± 2 |
| 1o min | 24 ± 2 | 18 ± 2 | 19 ± 2 |
| 15 min | 15 ± 2 | 14 ± 2 | 14 ± 2 |

Tab. 3 $CO_2$-Konzentration im Gasbad in verschiedenen Höhen der Wanne. Nach 5 Minuten, 1o Minuten und 15 Minuten Badedauer. Herstellung des Bades nach Vorschrift.

$CO_2$-Gaskonzentration

Mittelwerte und mittlerer Fehler der Mittelwerte

in Vol %

| | am Boden | 25 cm vom Boden | 4o cm vom Boden |
|---|---|---|---|
| 5 min | 64 ± 3 | 58 ± 4 | 52 ± 4 |
| 1o min | 7o ± 5 | 66 ± 4 | 57 ± 3 |
| 15 min | 73 ± 8 | 68 ± 8 | 51 ± 7 |

Tab. 4 $CO_2$-Konzentration im Gasbad in verschiedenen Höhen der Wanne nach 5, 10 und 15 Minuten Badedauer. Herstellung des Bades mit verlängerter Einlaufzeit.

schwindigkeit geringer sein sollte, als in Luft. Möglicherweise spielt die Qualität der Hautrötung, wenn sie ein bestimmtes Mindestmass erreicht, keine Rolle mehr für die Kreislaufwirkung. dazu müssten vergleichende Kreislaufuntersuchungen in trockenen und feuchten Bädern gemacht werden.

Bisher war es üblich, die $CO_2$-Konzentration im Gasbad mit dem "Versuch mit der brennenden Kerze" zu beurteilen. Man findet diese Angabe auch in den Anwendungsvorschriften für fabrikmässig hergestellte Gasbadekabinen oder-wannen. Es muss aber gesagt werden, dass diese Methode zur Feststellung, ob in einem Gasbad eine für therapeutische Zwecke genügend hohe Gaskonzentration herrscht, nicht ausreicht. Bei Versuchen mit Gasgemischen verschiedener Konzentrationen fand ich, dass eine Kerze bei einer $CO_2$-Konzentration von 15- 17 Vol% erlischt. Das ist zweifelsohne keine genügende Konzentration,um die erwünschte deutliche Hautreaktion zu erreichen.

Auch die Annahme, dass man aus der Zugabe einer definierten $CO_2$-Menge zu dem bekannten Rauminhalt eines Badebehälters genau errechenbare $CO_2$-Gaskonzentration bekommt, ist falsch, da ein Teil des zugeführten Kohlendioxyds aus dem nie luftdicht abschliessenden Badebehälter zusammen mit der verdrängten Luft entweicht. Dieser Fehlschluss findet sich auch in den Anleitungen fabrikmässig hergestellter $CO_2$-Gasbadekabinen oder-wannen zur Herstellung sogenannter künstlicher Kohlensäuregasbäder. Der $CO_2$-Verlust wird durch die Bewegungen der badenden Person, durch Wärmeentwicklung und noch mehr durch Zuleitung von Dampf oder Benutzung einer Umwälzanlage verstärkt.

So fand ich bei Messungen der für den Routinegebrauch vorhandenen $CO_2$-Gasbadewanne des Instituts folgende Werte: siehe Tabelle 3 und 4 und Abb. 11

$CO_2$-Gaskonzentration

Mittelwerte und mittlerer Fehler der Mittelwerte

in Vol %

| | am Boden | 25 cm vom Boden | 4o cm vom Boden |
|---|---|---|---|
| 5 min. | 34 ± 8 | 25 ± 2 | 23 ± 2 |
| 1o min | 24 ± 2 | 18 ± 2 | 19 ± 2 |
| 15 min | 15 ± 2 | 14 ± 2 | 14 ± 2 |

Tab. 3 $CO_2$-Konzentration im Gasbad in verschiedenen Höhen der Wanne. Nach 5 Minuten, 1o Minuten und 15 Minuten Badedauer. Herstellung des Bades nach Vorschrift.

$CO_2$-Gaskonzentration

Mittelwerte und mittlerer Fehler der Mittelwerte

in Vol %

| | am Boden | 25 cm vom Boden | 4o cm vom Boden |
|---|---|---|---|
| 5 min | 64 ± 3 | 58 ± 4 | 52 ± 4 |
| 1o min | 7o ± 5 | 66 ± 4 | 57 ± 3 |
| 15 min | 73 ± 8 | 68 ± 8 | 51 ± 7 |

Tab. 4 $CO_2$-Konzentration im Gasbad in verschiedenen Höhen der Wanne nach 5, 10 und 15 Minuten Badedauer. Herstellung des Bades mit verlängerter Einlaufzeit.

Eine Hautrötung konnte ich bei den nach Vorschrift hergestellten Bädern nicht feststellen. Erst eine Verlängerung der $CO_2$-Einlaufzeit von 2 Minuten auf 8 Minuten und Durchführung des Bades ohne Umwälzung des $CO_2$-Gasgemisches führten zu einer Hautrötung. Bei Konzentrationsmessungen ergaben sich erst jetzt ausreichende Konzentrationen an allen Stellen der Wanne. ( Abb. 11)

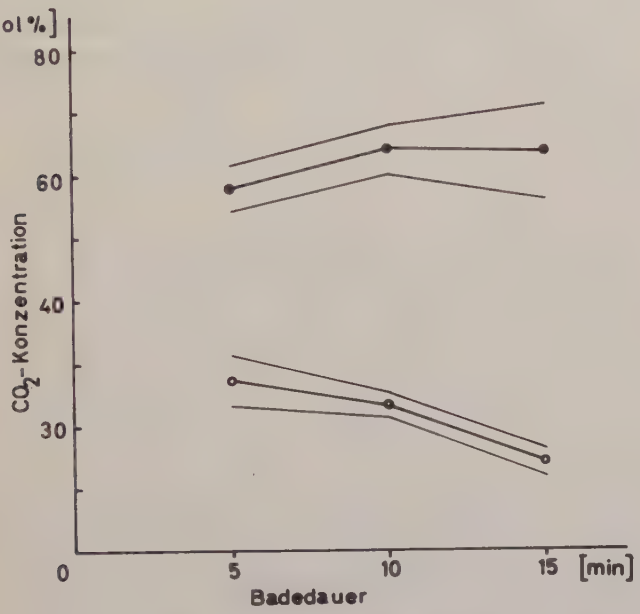


Abb. 11 $CO_2$-Konzentration im Gasbad ( Wanne) in Abhängigkeit von der Badedauer in nach Fabrikvorschrift hergestellten Gasbädern ( 2 Minuten nach $CO_2$-Einlaß und Benutzung einer Umwälzanlage) O und nach Verlängerung der $CO_2$-Einlaßzeit ( 8 Minuten ohne Umwälzanlage ● . Mittelwerte und mittlerer Fehler der Mittelwerte aus Messungen in verschiedenen Höhen der Wanne.

WITZLEB (42) berichtete auf dem Kongress der Gesellschaft für Physikalische Medizin im Oktober 1965 über ähnliche Ergebnisse bei seinen Versuchen und schlug vor, die Einlaufzeit für das Gas in die Wanne zu verlängern.

Bei Verwendung von Dampf zur Anfeuchtung der Haut ist darauf zu achten, dass nicht der Dampf die Gasatmosphäre bis zur Wirkungslosigkeit verdünnt.

Diese grundsätzlichen Untersuchungen zur $CO_2$-Konzentration im Wasserbad und Gasbad wurden durchgeführt, weil bei Versuchen im Sprühbad zunächst keine den $CO_2$-Wasser- und Gasbädern entsprechende Veränderung an der Haut feststellbar war und nachdem sich bei $CO_2$-Konzentrationsmessungen im Sprühbad nur wenig Kohlensäure im Bereich der Haut der Versuchsperson feststellen ließ.

Durch die verschiedenen Abänderungen der Sprühkabine, Sprühanlage und Kohlensäurezugabe zu einem kombinierten Gas-Sprühbad gelang es schließlich, genügend hohe $CO_2$-Konzentrationen nicht nur mit verwendeten Sprühwasser, sondern auch in der Gas-Wasseratmosphäre im Bereich der Haut der Versuchspersonen zu bekommen und damit auch eine biologische Wirkung hervorzurufen.

Alle Versuchspersonen zeigten in Sprühbädern, die mit genügend hoher $CO_2$-Konzentration im Sprühraum durchgeführt wurden, eine kräftige Hautrötung, die sich deutlich gegen die blasse Haut an den durch Plastiktüten geschützten Stellen abhob.

Es erscheint mir als therapeutisch durchaus sinnvoll, das Sprühbad in der von uns entwickelten Form als Kohlensäuresprühbad zu verwenden, da es den Vorteil des $CO_2$-Gasbades gegenüber dem Wasserbad mit der auch nach meiner Erfahrung diffusionsfördernden Wirkung des Wassers vereinigt.

Die Frage, ob es bei Sprühbädern mit genügend hohen $CO_2$-Konzentrationen auch zu den von HILLE, BAUM und HERTLEIN (17) beschriebenen, für das Sprühbad typischen Kreislaufveränderungen, vor allem nach dem Bad, kommt, kann nach diesen Untersuchungen noch nicht beantwortet werden. Mit entsprechenden Kreislaufmessungen müsste geklärt werden, ob die den $CO_2$-Wasserbädern entsprechende $CO_2$-Konzentration und ihre Kreislaufwirkung die von HILLE festgestellte spezifische Sprühwirkung auf den Kreislauf übertreffen würde und das Sprühbad den $CO_2$-Wasserbädern ebenbürtig, oder sogar überlegen machen würde.

## 6. Zusammenfassung

Bei Kreislaufuntersuchungen in $CO_2$-Sprühbädern sind bisher keine den $CO_2$-Wasserbädern entsprechende , in $CO_2$-Gasbädern sehr unterschiedliche Wirkungen gefunden worden. Es stellt sich die Frage, ob dafür möglicherweise zu niedrige $CO_2$-Konzentrationen verantwortlich zu machen sind. In der Literatur finden sich keine ausreichend genauen Hinweise auf die $CO_2$-Konzentration. Es gibt auch keine Vorschriften über die Mindestkonzentration in für therapeutische Zwecke verwendeten $CO_2$-Gasbädern, wie wir sie für das Kohlensäurewasserbad kennen. Untersuchungen über eine biologisch wirksame Grenzkonzentration fehlen ebenfalls. Die Frage, wie niedrig diese Grenzkonzentration in Kohlensäuregas-und- wasserbädern liegt , und ob sie im Kohlensäure-Sprühbad erreicht werden kann, versuchte ich in dieser Arbeit experimentell zu lösen.

1. Als günstige $CO_2$-Messmethode für $CO_2$-haltiges Wasser erwies sich für meine Versuchsbedingungen die pH-Messung bei bekannter Bikarbonatkonzentration und die daraus ableitbare Berechnung der Konzentration an freier,gelöster Kohlensäure. Für Messungen der $CO_2$-Konzentration im Gasbad benutzte ich die Methode nach Orsat und zur kontinuierlichen Kontrolle eine elektrochemische Methode nach Clark.

2. Als Grenzwert zur Erreichung einer biologischen Wirkung fand ich eine $CO_2$-Konzentration von durchschnittlich 320 mg/kg im Wasser und von 30 Vol % im Gasbad bei feuchter Haut. Für Gasbäder bei trockener Haut lag dieser Wert bei etwa 40 Vol %. Als Kriterium für eine biologische Wirkung diente mir die Hautrötung. Eine gegen gebadete Hautstellen mit scharfem Rand abgesetzte Hautrötung, wie sie bei den nach Vorschrift verabreichten Wasserbädern auftritt, fand

ich in Wasserbädern schon bei einer Konzentration von etwa 52o mg / kg freier ,gelöster Kohlensäure und in Gasbädern bei 5o Vol %,aber nur bei feuchter Haut.

3. Es wurden verschiedene Versuchsanordnungen zur Durchführung eines $CO_2$-Sprühbades erprobt.

4. Ich erreichte im Sprühbad die Grenzkonzentration für Gas-bzw. Wasserbäder und höhere Konzentrationen durch zursätzliche Verwendung von $CO_2$-Gas, nachdem das Sprühbad diesem Zweck entsprechend umgebaut worden war. Dadurch gelang es, eine den $CO_2$-Gas-und -Wasserbädern entsprechende Hautrötung bei allen Versuchspersonen hervorzurufen.

5. Mit diesen Untersuchungen konnte gezeigt werden, daß die $CO_2$-Konzentration ausschlaggebend für eine biologische Wirkung in allen $CO_2$-Bäderarten ist.

6. Der Versuch mit der brennenden Kerze ist un= geeignet zur Feststellung, ob in einem Gasbad eine für therapeutische Zwecke genügend hohe $CO_2$-Kon= zentration herrscht, da eine Kerze bereits bei 15-17 Vol % $CO_2$ erlischt, während die erforderliche Konzentration mindestens die dreifache ist.

7. Die Frage, welches die Ursache der offensichtlich fördernden Wirkung des Wassers für die $CO_2$-Diffusion durch die Haut ist, wurde im Rahmen dieser Versuche nicht behandelt und bedarf noch besonderer eingehen= der Untersuchungen.

8. Ebenso bleibt die Frage offen, ob die von HILLE festgestellten, für das Sprühbad spezifischen Kreis= laufwirkungen, die sich nach seinen Untersuchungen von denen des $CO_2$-Wasserbades unterscheiden, auch bei Sprühbädern mit genügend hohen $CO_2$-Konzentrationen auftreten.

Literaturverzeichnis


1. Begriffsbestimmungen für Kurorte, Erholungsorte und Heilbrunnen — Herausgegeb. vom Deutschen Bäderverbd. e.V. Verlagsanstalt H. Neuser KG, 1958

2. Benat u. Hönighaus — Das Verhalten der Hauttemperatur unter dem Einfluß von Kohlensäuregasbädern. Z. klin. Med. 126:485 (1934)

3. Budelmann, G. — Untersuchungen über Venendruck und Vitalkapazität der Lunge und das Herzminutenvolumen bei Gesunden und Herzkranken in Ruhe und bei Kreislaufbelastung. Z. klin. Med. 127:15 (1935)

4. Budelmann, G. — Die Behandlung Herz- und Kreislaufkranker im Kohlensäurebad. Z. angew. Bäder- und Klimaheilkunde 2: 319 (1936)

5. Cobet, R. und von Haebeler — Über den Einfluß der Kohlensäuregasbäder auf den Menschen. Z. klin. Med. 112:134 (1930)

6. Conway, B.E. — Elektrochemische Tabellen COVI-Verlag, Frankfurt 1957 S. 184

* 7. Dirnagl, K. Fick, K. und U. Schneider — Das "Sprühbad", eine neue balneotherapeutische Anwendungsform. Münch. med. Wschr. 103:2230, (1961)

* 8. Dirnagl,K.u. Kamm, S. — Experimentelle Ergebnisse über Kreislaufwirkungen von Kohlensäuregasbädern.Arch. phys.Ther. 7:122 (1955)

9. Eckervogt,F.J. — Über den Gaswechsel im $CO_2$-Gasbad. Z. Kreisl.Forschg. 43:349 (1954)

10. Gollwitzer-Meier,K. — Zur Frage der Wirkung des Kohlensäurebades auf die Herzenergetik.Balneologe 5 : 734 (1938)

11. Grödel, F.M.u. Wachter — Experimentelle Studien über die physilogische Wirkung der Kochsalzthermen. Z. f.wiss.Bäderkunde 2 : 873 (1927/28)

12. Haessler,H. — Über die Kohlensäurediffusion durch die menschliche Haut. Pflügers Arch.ges.Physiol. 237:448 (1936)

13. De la Harpe, E. — Über die unmittelbare Wirkung der Kohlensäurebäder aufden Kreislauf.Annalen der Schwiz. Balneol. Ges. 8 : 69

14. Haessler, H. — Über die Kohlensäureaufnahme durch die Haut aus verschiedenen Wässer. Balneologe 3:217 (1936)

15. Hentschel, H.D. — Vergleichende Untersuchungen zur Behandlung mit Kohlensäurebädern. Kongressbericht 1961.

16. Hentschel, H.D. — Experimentelle und klinische Untersuchungen zur Wirkung von Kohlensäurebädern auf die periphere Strombahn. Arch. phys. Ther. 18:189 (1966)

17. Hille, H. Baum u. Hertlein — Experimentelle Untersuchungen über die Kreislaufwirkungen von Kohlensäuresprühbädern. Z. Bäder und Klimaheilk. 11:45 (1964)

18. Hille, H. Baum u. Renner — Kreislaufuntersuchungen im Kohlensäuregasbad. Z. angew. Bäder und Klimaheilk. 11:120 (1964)

19. Hille, H. und Burr — Der $CO_2$- Gehalt künstlich hergestellter Kohlensäurebäder. Arch. phys. Ther. 3:193 (1964)

20. Keller, H. — Die physiologische Wirkung des Solbades und des $CO_2$-haltigen Solbades. Annalen der Schweizerischen Balneolo. Gesellschaft.

21. Komma und Scheminsky — Bad Schönau, ein Säuerling, seine Entwicklung und Kurmittelanwendung. Wien. med. Wschr. 7 (1958)

22. Kramer, K. und Sarre — Untersuchungen über die Kohlensäurediffusion durch die Haut. Balneologe 2:4 (1935)

23. Kretschmer — Über die Heilwirkung der Kohlensäure. Dtsch. med. Wschr. 37:1511 (1936)

24. Kuderna — Erfahrungen mit den natürlichen $CO_2$-Gasbädern in Schönau. Wien. med. Wschr. 108:367 (1958)

25. Landois-Rosemann — Lehrbuch der Physiologie.

26. Lindberg,H. — Klinische Beobachtungen über das Verhalten des Kreislaufs unter Behandlung mit Kohlensäuregasbädern. Z. phys. Ther. 9:103 (1957)

27. Liljestrand, G.u. Magnus — Die Wirkung des Kohlensäurebades beim Gesunden. Pflügers Arch. ges. Physiol. 193:527 (1922)

28. Mielke und Schäfer — Zur Dosierung der $CO_2$-Bäder Arch. phys. Ther. 9:313 (1957).

29. Neußer, H. — Kohlensäuregasbehandlung bei Erfrierungen. Arch. phys. Ther. 2-3:135 (1955)

30. Palme, U. — Kreislaufwirkung von $CO_2$-Gasbädern. Schriftr. d.Dtsch.Bäderverb. 7:134 (1951)

31. Reichel, H. — Kohlensäuregasbäder. Schriftr. d. Dtsch.Bäderverb. 7:134 (1951)

32. Reichel, H. u. Palme — Erfahrungen mit der $CO_2$-Gasbadebehandlung.Arch. phys. Ther. 1:306 (1949)

* 33. Scheidemandel,V. Vergleichende Kreislaufuntersuchungen in der Luft- und Kohlensäuresprühbädern bei gesunden Jugendlichen und bei Hypertonikern. Dissertation 1966

34. Scheminsky Wesen, Technik und Indikation der $CO_2$-Gasbäder. Wien. med. Wschr. 108:368 (1958)

* 35. Schnelle,KW. Experimentelle und klinische Untersuchungen über $CO_2$-Gas-Bäder. Arch. Phys. Ther. 6:258 (1954)

36. Schulz, W. und Amelung Vergleichende Untersuchungen der wirksamen Faktoren des $CO_2$-Gasbades. Arch. phsy. Ther. 9:317 (1957)

37. Schulz, W.und Best Oscillographische Befunde und ihre Auswertung bei Kohlensäuregasbädern. Med. Welt 37:1934 (1960)

38. Straßburger, S. Über Blutdruck, Gefäßtonus und Herzarbeit bei Wasserbädern verschiedener Temperaturen und bei Kohlensäurehaltigen Solbäder. Arch. klin. Med. 8:459 (1905)

39. Weber Behandlung der Hypertonie mit Kohlensäurebädern.

40. Wiesner, J. Neuere Unterscuhungen über $CO_2$-Gasbäder. Arch. phys. Ther- 112 (1951)

41. Witzleb, E. Kohlensäurewässer. Handbuch der Bäder- und Klimaheilkunde XIII 8. Schattauerverlag Stuttgart 1962.

42. Witzleb, E.und Meier Probleme bei der Durchführung von $CO_2$-Trockenbädern. Arch. phys. Ther. 18:219 (1966)

43. Weigmann, R. und Schindewolf Zur Wirkung des Kohlendioxyds auf Schmerz- und Druckempfindlichkeit der Haut. Arch. phys. Ther. 5:144 (1953)

44. Zörkendörfer, W. Wärmeverhalten und Temperaturdosierung bei $CO_2$-Gasbädern. Arch. phys. Ther. 2-3:129 (1955)

Die mit * gekennzeichneten Arbeiten stammen aus dem Arbeitskreis des Balneologischen Institutes der Universität München und dem Rieder Institut, Leitung Prof. Dr. H. v. Braunbehrens.

## Lebenslauf

Ich, Ute Tolle, wurde am 27. Oktober 1934 als 3. Kind des Kaufmanns Richard Tolle und seiner Ehefrau Gertrud Tolle geb. Hauschild in Nordhausen am Harz geboren. Mein Vater verstarb 1945. Grund-und Ober= schule besuchte ich in Nordhausen und bestand 1954 das Abitur. Da ich in der SBZ nicht zum Studium zuge= lassen wurde, legte ich in West-Berlin nach einjährigem Besuch eines Lehrganges für Ostabiturienten die Er= gänzungsprüfung zum Abitur ab und immatrikulierte mich an der Medizinischen Fakultät der Freien Universität Berlin. 1958 bestand ich dort das Physikum und 1962 das Staatsexamen. Die Medizinalassistentenzeit absol= vierte ich an verschiedenen Krankenhäusern der Bundes= republik, zuletzt in München und erhielt am 31. August 1964 die Aprobation. Ich war dann Doktorandin beim Balneologischen Institut bei der Universität München und bin jetzt seit April 1965 Assistentin in der Abteilung für Physikalische Therapie des Riederinsti= tuts der Universität München.

Die experimentellen Untersuchungen wurden im Balneologischen Institut und den Räumen der Abteilung für physikalische Therapie des Riederinstituts der Universität München durchgeführt.

Ich danke allen, die zum Zustandekommen dieser Arbeit beigetragen haben, besonders dem Leiter dieser beiden Institute Herrn Prof. Dr. H. v. Braunbehrens

Herrn Priv. Doz. Dr. Drexel, Herrn Dipl. Phys. Dirnagl und Herrn Dipl. Chem. Pratzel gilt mein besonderer Dank für die Anregung des Themas, ihre Hilfbereitschaft und ihre ständige freundliche Unterstützung und Beratung bei der Durchführung der Experimente und Berechnungen.

Außerdem möchte ich der Bäderverwaltung Bad Wiessee, insbesondere Herrn Kurdirektor Hoevers, für die finanzielle Unterstützung danken, durch die mit die Arbeit beim Balneologischen Institut der Universität München ermöglicht wurde.